

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-132865

(43)Date of publication of application : 22.05.1998

(51)Int.Cl. G01R 15/24
G01R 29/12

(21)Application number : 08-288689

(71)Applicant : NISSIN ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 30.10.1996

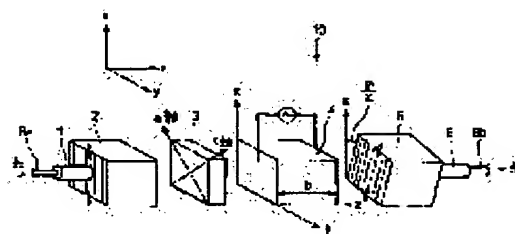
(72)Inventor : KUMEGAWA HIROSHI

(54) PHOTOVOLTAGE/ELECTRIC FIELD SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve a modulation sensitivity by inclining the polarization direction of an analyzer by approximately half an optical angle in a direction where a polarization surface rotates due to the optical rotation property of a crystal for the crystal axis that orthogonally crosses the advance direction of light in an electrical optical crystal.

SOLUTION: A photoelectric sensor has a collimator 1, a polarizer 2, a 1/4- wavelength plate 3, a Pockels element 4, an analyzer 5, and a collimator 6 in a casing 7 in the order of light incidence. A natural optical activity crystal such as Bi12GeO20 is used for the Pockels element 4, and the polarization direction of the analyzer 5 is inclined by approximately half an optical angle in the same direction as the direction where a polarization surface rotates due to the optical activity of the crystal for the advance direction of light. For example, in the case of Bi12GeO20 crystal that is approximately 3mm thick, the analyzer 5 is inclined by approximately 15° to the right since the optical rotation angle is approximately +30°. In this manner, by determining the position relationship between the Pockels element 4 and the analyzer 5 depending on the optical rotation angle of the Pockels element 4, a modulation sensitivity can be maximized.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.12.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 02.10.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

ISR 3153/237

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-132865

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 R 15/24
29/12

識別記号

F I

G 0 1 R 15/07
29/12

C
F

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平8-288689

(22) 出願日

平成 8 年(1996)10月30日

(71) 出願人 000003942

日新電機株式会社

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地

(72) 発明者 久米川 宏

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地 日
新電機株式会社内

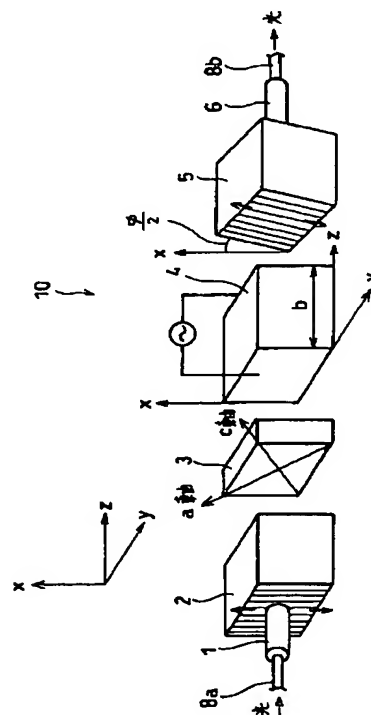
(74) 代理人 弁理士 原 謙三

(54) 【発明の名称】 光電圧・電界センサ

(57) 【要約】

【課題】 光電圧・電界センサの変調感度を高める。

【解決手段】 光の進行方向に沿って偏光子 2、 $\lambda/4$ 板 3、旋光性を有するポッケルス素子 4、及び検光子 5 が順次配置された光電圧センサ 10 において、上記検光子 5 の偏光方向が、ポッケルス素子 4 (電気光学結晶) における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光の進行方向に沿って偏光子、波長板、旋光性を有する電気光学結晶、及び検光子が順次配置された光電圧・電界センサにおいて、

上記検光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられていることを特徴とする光電圧・電界センサ。

【請求項 2】 光の進行方向に沿って偏光子、旋光性を有する電気光学素子、波長板、及び検光子が順次配置された光電圧・電界センサにおいて、

上記偏光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられていることを特徴とする光電圧・電界センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ポッケルス素子などの電気光学素子を使用して電圧又は電界の強度を測定するための光電圧・電界センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 電力系統の電圧測定には、電圧変成器が広く用いられている。しかしながら、この電圧変成器は、測定すべき系統電圧が高くなるほど大型化してしまい、コストおよびスペースが嵩むという問題がある。特にGISと称される不活性ガスを用いたガス絶縁開閉装置では、小型化および省スペース化が強く要求され、このような電圧変成器を搭載することが困難になっている。

【0003】 このため、従来から、ポッケルス素子などの電気光学素子を用いた光電圧センサが用いられるようになってきている。図15に、典型的な従来の光電圧センサ50の構成を示す。

【0004】 上記の光電圧センサ50は、光ファイバを介して導入された入射光を平行光にするコリメータ51と、ランダムな上記平行光を直線偏光にする偏光子52と、上記直線偏光を円偏光にする $\lambda/4$ 板53と、印加電圧に応じて位相変調を行って上記円偏光を楕円偏光にするポッケルス素子54と、ポッケルス素子54からの楕円偏光における所定の偏光方向の成分のみを抽出する検光子55と、及びコリメータ56とを備えている。上記コリメータ56を通過した出力光は、光ファイバを介して図示しない受光素子へ入力され、光/電気変換された後に信号処理回路で処理される。

【0005】 上記ポッケルス素子54の表面部には図示しない透明電極が設けられており、測定対象の電圧が光の進行方向に印加される。例えば、上記ポッケルス素子54には、電力系統の充電導体と、当該充電導体と並行

に配設された浮遊導体とによって形成される浮遊容量と、前記浮遊導体と接地電位との間に設けたコンデンサとによって、前記充電導体の電圧が分圧されて印加される。尚、上記ポッケルス素子54の表面部に電極を設けることなく当該素子を電界中に配置すれば、光の進行方向の電界の強度を測定することが可能であり、光電界センサとなる（尚、ここでは光電圧センサとして説明を続ける）。

【0006】 上記の光電圧センサ50において、その変調感度を高めるためには上記の光学部材52～55の位置関係が重要となる。この位置関係を説明するために、図15に示すように、x軸、y軸、z軸からなる直交座標系を考え、ポッケルス素子54として使用される電気光学結晶の各結晶軸を、上記x軸、y軸、z軸に一致させて（1軸性結晶の場合、その光学軸をz軸に一致させて）配した場合について説明する。尚、z軸方向を光の進行方向とする。

【0007】 一般的には、同図に示すように、 $\lambda/4$ 板53のc軸（光学軸）がx軸に対して 45° だけ傾けられると共に、偏光子52の偏光方向は上記c軸に対して 45° 傾いたx軸上に配される。そして、検光子55の偏光方向は、同図のように偏光子52の偏光方向と平行に配される（いわゆる平行偏光子）か、又は検光子55の偏光方向が偏光子52の偏光方向と直交するように配される（いわゆる直交偏光子）。

【0008】 また、図16に示すように、光学バイアスとしての $\lambda/4$ 板53をポッケルス素子54の下流に配置（すなわち、ポッケルス素子54と検光子55との間に $\lambda/4$ 板53を挿入）することもできるが、この場合も、偏光子52及び検光子55の偏光方向はx軸と平行に設けられる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記のポッケルス素子54として使用される電気光学結晶には、 LiNbO_3 などの旋光性を持たない結晶と、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ などの旋光性を有する結晶がある。そして、本願発明者は、旋光性を有する電気光学結晶を用いた研究を重ねていくうちに、そのような旋光性結晶を用いた場合、上記従来の光学部材の位置関係では、最高の変調感度を得ることができないことを見いだした。特に、図15に示すように偏光子52とポッケルス素子54との間に光学バイアスとして $\lambda/4$ 板53を挿入した場合には、ポッケルス素子54と検光子55との位置関係が上記従来の構成のままでは最高の変調感度を得ることができず、また、図16に示すようにポッケルス素子54と検光子55との間に $\lambda/4$ 板53を挿入した場合には、ポッケルス素子54と偏光子52との位置関係が上記従来の構成のままでは最高の変調感度を得ることができないことを見いだした。

【0010】 本発明は、上記に鑑みてなされたものであ

り、その目的は、電気光学結晶と偏光子又は検光子との位置関係を適正化することによって、高い変調感度を有する光電圧・電界センサを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る光電圧・電界センサは、光の進行方向に沿って偏光子（例えば、偏光ビームスプリッタ）、波長板（例えば、最適な光学バイアスとして機能する $\lambda/4$ 板）、旋光性を有する電気光学結晶、及び検光子（例えば、偏光ビームスプリッタ）が順次配置されたものであって、上記の課題を解決するために、上記検光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられていることを特徴としている。尚、旋光性を有する電気光学結晶としては、例えば、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ や $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 等を使用することができる。

【0012】上記のように、光学バイアスとして機能する波長板を偏光子と電気光学結晶との間に配置した場合、電気光学結晶の出力光が検光子に直接入射することになる。このような構成では、電気光学結晶の光の出射面における偏光の固有軸（すなわち、屈折率楕円体の主軸）がどの角度に存在するのかを考える必要がある。

【0013】尚、電気光学結晶中を光が通過する際には、直交する2方向に振動する直線偏光に分解されるが、この光の分解方向と一致するのが上記の偏光の固有軸であり、この軸は屈折率楕円体における光の進行方向と直交する2つの主軸に相当する。

【0014】旋光性を有する電気光学結晶では、旋光性のない電気光学結晶と比較して、旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ、光の出射面における偏光の固有軸が回転していると考えられる（詳細は実施の形態の欄で説明）。

【0015】ここで、電気光学結晶の光の出射面における偏光の固有軸と平行になるように検光子（その偏光方向）を配置すれば、感度は最低（殆ど0）となるが、この偏光の固有軸より $45^\circ \pm 90^\circ \times n$ (n は整数)の角度だけ光の進行方向を中心として回転させた位置に検光子を配置すれば、変調感度は最大となる。

【0016】したがって、電気光学結晶の各結晶軸を x 軸、 y 軸、 z 軸（各軸は互いに直交）とし、 z 軸方向に光を入射する場合を考えると、旋光性のない電気光学結晶を使用した場合、検光子の偏光方向を電気光学結晶の結晶軸（ x 軸又は y 軸）と一致させたときに変調感度が最大となることから、旋光性を有する電気光学結晶を使用した場合、上記のように検光子の偏光方向を、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸（ x 軸又は y 軸）に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ傾ければ、変調感度は最大となる。

【0017】請求項2の発明に係る光電圧・電界センサは、光の進行方向に沿って偏光子（例えば、偏光ビームスプリッタ）、旋光性を有する電気光学結晶、波長板（例えば、最適な光学バイアスとして機能する $\lambda/4$ 板）、及び検光子（例えば、偏光ビームスプリッタ）が順次配置されたものであって、上記の課題を解決するために、上記偏光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられていることを特徴としている。尚、旋光性を有する電気光学結晶としては、例えば、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ や $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 等を使用することができる。

【0018】上記のように、光学バイアスとして機能する波長板を電気光学結晶と検光子との間に配置した場合、偏光子を通過した直線偏光が電気光学結晶に直接入射することになる。このような構成では、電気光学結晶の光の入射面における偏光の固有軸（すなわち、屈折率楕円体における光の進行方向と直交する2つの主軸）がどの角度に存在するのかを考える必要がある。

【0019】旋光性を有する電気光学結晶では、旋光性のない電気光学結晶と比較して、旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角の略半分の角度だけ、光の入射面における偏光の固有軸が回転していると考えられる（詳細は実施の形態の欄で説明）。

【0020】ここで、電気光学結晶の光の入射面における偏光の固有軸と平行になるように偏光子（その偏光方向）を配置すれば、感度は最低（殆ど0）となるが、この偏光の固有軸より $45^\circ \pm 90^\circ \times n$ (n は整数)の角度だけ光の進行方向を中心として回転させた位置に偏光子を配置すれば、変調感度は最大となる。

【0021】したがって、電気光学結晶の各結晶軸を x 軸、 y 軸、 z 軸（各軸は互いに直交）とし、 z 軸方向に光を入射する場合を考えると、旋光性のない電気光学結晶を使用した場合、偏光子の偏光方向を電気光学結晶の結晶軸（ x 軸又は y 軸）と一致させたときに変調感度が最大となることから、旋光性を有する電気光学結晶を使用した場合、上記のように偏光子の偏光方向を、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸（ x 軸又は y 軸）に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角の略半分の角度だけ傾ければ、変調感度は最大となる。

【0022】

【発明の実施の形態】

〔実施の形態1〕本発明の実施の一形態について図1ないし図13に基づいて説明すれば、以下の通りである。

【0023】本実施の形態では、電気光学効果素子としてポッケルス素子を用いた光電圧センサを例に挙げて説明する。

【0024】図2に示すように、光電圧センサ10は、

ケーシング7内に、光の入射側から順に配されたコリメータ1、偏光子2、 $\lambda/4$ 板3（波長板）、ポッケルス素子4、検光子5、及びコリメータ6を備えている。尚、偏光子2及び検光子5は偏光ビームスプリッタにて構成することができ、その透過光又は反射光の何れを利用してよく、反射光を利用する場合、コリメータ1及びコリメータ6はケーシング7の上部又は下部に設けられる。

【0025】上記コリメータ1には図示しない光源からの光をケーシング7内へ導く光ファイバ8aが接続されている。上記光ファイバ8aに導かれた入射光は、コリメータ1を通過することによって平行光となる。この平行光の偏光方向はランダムであるが、偏光子2によって直線偏光となる。この直線偏光が $\lambda/4$ 板3の光学軸（c軸）に対して 45° の角度で入射することによって、 $\lambda/4$ 板3を通過した光は円偏光となる。そして、この円偏光はポッケルス素子4へ入射する。

【0026】上記ポッケルス素子4は、電気光学結晶の光の入射面と出射面とに、光の透過を妨げないような一対の透明電極（図示せず）を付けたものである。このポッケルス素子4の一対の透明電極は、リード線9・9を介してケーシング7の外壁面に設けられた一対の電極9a・9aに接続されており、当該電極9a・9aに検出対象の電圧を印加することによって、ポッケルス素子4には光の進行方向に電界がかけられる。そして、ポッケルス素子4は、印加された電圧に応じて位相変調を行い（結晶内を伝搬する振動面が互いに直交する直線偏光に印加電圧に応じた位相差を生じさせ）、円偏光を楕円偏光にする。

【0027】上記ポッケルス素子4で位相変調され、印加電圧に応じた楕円率（長軸と短軸との比率）の楕円偏光は、検光子5に入射する。この検光子5は、所定の偏光方向の成分のみを抽出し、楕円偏光の楕円率に応じた（すなわちポッケルス素子4への印加電圧に応じた）光強度の直線偏光を出力する。そして、検光子5の出力光は、コリメータ6及び光ファイバ8bを介して図示しない受光素子へ入力される。

【0028】本実施の形態のポッケルス素子4では、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ や $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 等の自然旋光性結晶を使用している。ここでは、一例として $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶を用いて説明する。 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶は、結晶点群T（国際記号23）の結晶であり、等軸晶系に属する。ポッケルス素子4をなす $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶は、結晶表面と $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ の結晶軸とが平行になるように軸出しされている。

【0029】図1に示すように、ポッケルス素子4をなす $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の各結晶軸 $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 010 \rangle$ 、 $\langle 001 \rangle$ と平行な軸をそれぞれ直交座標系のx軸、y軸、z軸とする。尚、等軸晶系に属する $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶に電圧が印加されていない状態においては、

$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の屈折率楕円体は球形である。この $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶のz方向の中間点における屈折率楕円体の主軸（X軸、Y軸、Z軸）は、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の各結晶軸と平行な上記x軸、y軸、z軸と一致する。

【0030】そして、上記 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の表面には、z軸と平行な方向からの光が垂直に入射すると共に、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶には光の進行方向に測定対象の印加電圧に応じた電界 $E(0, 0, E_z)$ がかけられる。

【0031】 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の光の進行方向（z軸方向）の厚さをb（mm）、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の旋光能を θ （ $^\circ/\text{mm}$ ）とすると、当該 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶を通過する光の振動面は、 $\theta \times b$ で与えられる角度 ϕ （ $^\circ$ ）だけ回転する。以下、上記の ϕ を旋光角と称する。旋光能 θ は、個々の結晶に特有の値であり、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の場合、入射光の波長が $800\text{nm} \sim 900\text{nm}$ のときには $\theta \approx 10.5^\circ/\text{mm}$ である。この場合、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶のz軸方向の厚さbを例えば約3mmにすれば、旋光角 $\phi \approx 30^\circ$ となり、また、上記厚さbを約5.7mmにすれば旋光角 $\phi \approx 60^\circ$ となる。尚、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の場合は、光の進行方向の上流側から下流に向かって見た場合に、右方向（時計の回転方向）に光の振動面が回転する。

【0032】尚、ここでは、回転方向を示す場合、光の進行方向の上流側から下流に向かって見た場合の方向を示すものとする。また、右方向（時計まわり）の回転を正（+）、左方向（反時計まわり）の回転を負（-）として記載する。

【0033】本実施の形態においては、上記のような旋光性を有する結晶をポッケルス素子4として使用した場合に、検光子5の偏光方向が、上記x軸方向に対して、結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角 ϕ の約半分の角度（ $\approx \phi/2$ ）だけ傾けられている。一例を示すと、上記のような厚さ $b \approx 3\text{mm}$ の $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の場合は、旋光角 $\phi \approx +30^\circ$ なので、x軸に対して検光子5（その偏光方向）を右に約 15° 傾ければよい。また、厚さ $b \approx 5.7\text{mm}$ の $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の場合は、旋光能による回転角度 $\phi \approx +60^\circ$ なので、x軸に対して検光子5（その偏光方向）を右に約 30° 傾ければよい。このように、ポッケルス素子4の旋光角に応じてポッケルス素子4と検光子5との位置関係を定めることにより、後述のように変調感度を最大にすることができる。

【0034】上記 $\lambda/4$ 板3は、そのc軸（光学軸）及びa軸が当該波長板結晶表面に平行であり、c軸が上記x軸に対して 45° 傾けられて配されている。また、偏光子2は、その偏光方向が上記x軸方向と平行になるように配されており、これによって偏光子2を通過した直線偏光が $\lambda/4$ 板3の光学軸（c軸）に対して 45° の

角度で入射する。但し、ポッケルス素子4に対する上記偏光子2や $\lambda/4$ 板3の位置が変化しても（換言すれば、偏光子2の偏光方向及び $\lambda/4$ 板3のc軸と上記x軸とのなす角度が変わっても）、上述のように検光子5をx軸に対して約 $\phi/2$ だけ傾けた位置で変調感度が最大となる。すなわち、変調感度を最大にするためには、ポッケルス素子4と検光子5との位置関係が重要なのである。このことを確かめるため、以下に示す実験を行った。

【0035】図2に示すようにコリメータ1、偏光子2、 $\lambda/4$ 板3、ポッケルス素子4、検光子5、コリメータ6を順に並べ、図示しない安定化光源より約850nmの波長の光を出力する。ポッケルス素子4としては厚さ $b \approx 3$ mmの $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶を使用し、このポッケルス素子4の光の進行方向に、安定した50Vの交流電圧を印加する。そして、検光子5及びコリメータ6

を通過して光ファイバ8bに導かれる光に対して、光/電気変換（O/E変換）を施した後、その交流成分（AC値）及び直流成分（DC値）を測定する。

【0036】 $\lambda/4$ 板3のc軸とポッケルス素子4の結晶軸（x軸）との関係は図1に示す通り $\lambda/4$ 板3のc軸をx軸に対して45°に傾けたまま一定とし、偏光子2の偏光方向とx軸とのなす角度が、-60°、-45°、-30°、0°、+30°、+45°、+60°となるように偏光子2の位置を変化させる（z軸を中心として偏光子2を回転させる）。そして、偏光子2を上記の各位置に配した場合に、z軸を中心として検光子5を回転させながら、センサ出力のAC値が最大になる検光子5の位置（検光子5の偏光方向とx軸とのなす角度）を調べる。この実験結果を下表1に示す。

【0037】

【表1】

偏光子の位置 〔度〕	AC値が最大となる 検光子の位置〔度〕	AC値(max) 〔mV〕	DC値 〔mV〕
-60	+15	46	873
-30	+15	52	857
0	+15	99	593
+30	+15	49	354
+60	+15	52	354
+45	+15	5（感度略0）	325
-45	+15	6（感度略0）	610

【0038】尚、参考として、偏光子2及び検光子5の偏光方向を何れもx軸に対して0°として（いわゆる平行偏光子であり従来の構成）センサ出力のAC値を測定したが、その値は87mVであった。また、旋光性のポッケルス素子4を使用した場合に最大感度を得るには、直感的には、従来の構成より検光子5を $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の旋光角 ϕ と同じだけ（+30°）傾ければよいように思われる。しかし、検光子5を+30°傾けた場合のセンサ出力のAC値は、表1に示すとおり49mVであった。上記の平行偏光子の場合及び検光子5を旋光角 ϕ と同じだけ傾けた場合のAC値は、検光子5の偏光方向をx軸に対して+15°（厚さ $b \approx 3$ mmの $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の旋光角の半分）傾けた場合のAC値（99mV）よりも小さくなっている。

【0039】また、表1に示すように、偏光子2の位置を変化させても、センサ出力のAC値（AC成分の振幅）が最大（すなわち変調感度が最大）となるのは、検光子5の偏光方向をx軸に対して+15°（厚さ $b \approx 3$ mmの $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の旋光角の半分）だけ傾けた場合である。尚、変調感度が最大となる検光子5の位置から $\pm 90^\circ \times n$ 回転した位置に検光子5を配した場合も、同様に変調感度が最大となる。

【0040】これに対して、検光子5をAC値が最大と

なる上記の位置から $\pm 45^\circ$ 回転させた位置に配すると、偏光子2の位置（角度）を変化させても常にAC値が略0となることも確認した。

【0041】すなわち、ポッケルス素子4の旋光角が ϕ （°）であれば、検光子5の偏光方向をx軸に対して、 $(\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ （nは整数）だけ傾ければ変調感度が最大となり、一方、検光子5の偏光方向をx軸に対して、 $(\phi/2) \pm 45^\circ \pm 90^\circ \times n$ （nは整数）だけ傾ければ変調感度が最小となる。

【0042】ところで、上記の実験において、偏光子2の偏光方向をx軸に対して0°（尚、 $0^\circ \pm 90^\circ \times n$ でも同じ）に配した場合、 $\lambda/4$ 板3にはそのc軸（光学軸）に対して45°の角度で直線偏光が入射されるので、 $\lambda/4$ 板3の出力が円偏光となり、この場合に偏光子2を他の位置（角度）に配するよりも変調感度が良くなっている（表1においてAC値(max)は99mV）。

【0043】また、偏光子2の偏光方向をx軸に対して $\pm 45^\circ$ （尚、 $45^\circ \pm 90^\circ \times n$ でも同じ）に配した場合、 $\lambda/4$ 板3にはそのc軸（光学軸）と平行又は垂直に直線偏光が入射されるので、 $\lambda/4$ 板3を通過する光が異常光線と常光線とに分解されることがなく（すなわち位相差を生じることがなく）、 $\lambda/4$ 板3の出力は

直線偏光のままであり、この場合にはAC値も殆ど0となる。

【0044】また、偏光子2の偏光方向を、x軸に対して 0° 及び $\pm 45^\circ$ 以外の角度で傾けた場合、 $\lambda/4$ 板3の出力はその角度に応じた楕円率の楕円偏光となる

(その角度が 0° に近いほど楕円率は小さくなる)。 $\lambda/4$ 板3が正確に 90° の位相差を生じさせるものであれば、 $\lambda/4$ 板3から出力される楕円偏光の長軸・短軸は $\lambda/4$ 板3のc軸と平行又は直交し、当該楕円偏光の楕円率が大きくなると共にAC値が小さくなる。

【0045】したがって、偏光子2と $\lambda/4$ 板3との関係では、偏光子2の偏光方向を $\lambda/4$ 板3のc軸(光学軸)に対して 45° 傾け、 $\lambda/4$ 板3の出力が円偏光となるようにすることが、変調感度向上のためには望ましい。

【0046】また、旋光角 ϕ が上記とは異なるポッケルス素子4(厚さ $b \approx 5.7$ mmの $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶)を使用し、上記と同様の実験を行った。この場合も、上記と同様に、偏光子2の位置を変化させても、センサ出力のAC値が最大となるのは、検光子5の偏光方向をx軸に対して旋光角 ϕ の半分(この場合 $+60^\circ/2 = +30^\circ$)だけ傾けた場合であった。

【0047】ところで、上記の実験では、 $\lambda/4$ 板3のc軸とポッケルス素子4の結晶軸(x軸)との関係は一定(45°)であった。そこで、以下の実験では、 $\lambda/4$ 板3のc軸とx軸との角度を変化させ、最大感度が得られる条件を調べた。

【0048】(1) まず、図3に示すように、 $\lambda/4$ 板3のc軸をx軸に対して 45° 傾けると共に、偏光子2の偏光方向をx軸に対して -10° 傾ける。

【0049】(2) ポッケルス素子4は光路から取り除いて、偏光子2と検光子5との間には $\lambda/4$ 板3のみが存在する状態にする。

【0050】(3) 検光子5の位置を $0^\circ \sim -170^\circ$ まで 10° 刻みで変化させ、そのときのDC値を読み取って $\lambda/4$ 板3から出力される楕円偏光の状態をみる。

【0051】ここまでの操作によって得られた楕円偏光の状態を図4中に一点鎖線で示している。この場合、偏光子2が $\lambda/4$ 板3のc軸よりもa軸側に傾いているので、a軸上に長軸を持つ楕円偏光となる。

【0052】(4) 次に、上記(1)の状態において、ポッケルス素子4(厚さ $b \approx 5.7$ mmの $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶を使用)を $\lambda/4$ 板3と検光子5との間に挿入する。この場合、図1に示すように、ポッケルス素子4の各結晶軸をx軸、y軸、z軸に一致させる。そして、この状態で、上記(3)と同様にして検光子5の位置を 10° 刻みで変化させ、そのときのDC値を読み取ってポッケルス素子4から出力される楕円偏光の状態をみる。尚、ここではポッケルス素子4に電圧は印加しない。

【0053】上記の操作によって得られた楕円偏光の状

態を図4中に実線で示している。この楕円偏光は、上記(3)で得られた $\lambda/4$ 板3のみの場合の楕円偏光と略同じ楕円率であり(楕円偏光の形が保存されており)、その長軸がポッケルス素子4の旋光角 $\phi \approx +60^\circ$ だけ回転したものとなっている。

【0054】(5) 次に、上記ポッケルス素子4に安定した50Vの交流電圧を光の進行方向に印加し、z軸を中心として検光子5を回転させながら、センサ出力のAC値が最大となる検光子5の位置(検光子5の偏光方向とx軸とのなす角度)を調べる。

【0055】上記の操作の結果、図4に示すように、AC値が最大となる検光子5の位置は、その偏光方向とx軸とのなす角度が $+30^\circ$ (すなわち、旋光角 ϕ の半分) $\pm 90^\circ \times n$ であり、AC値(max)は83mVであった。

【0056】(6) 次に、図5に示すように、 $\lambda/4$ 板3のc軸をx軸に対して 35° 傾けると共に、偏光子2の偏光方向をx軸に対して -20° 傾ける(偏光子2の偏光方向と $\lambda/4$ 板3のc軸とは、上記(1)と同様に 55° の角度を有する)。

【0057】(7) 上記の状態において、上記(3)～(5)と同様の操作を行う。

【0058】上記の操作の結果を図6に示している。上記(1)～(5)の実験と比べると $\lambda/4$ 板3を -10° 回転させたためにポッケルス素子4への入射角(楕円偏光の長軸とポッケルス素子4のx軸とのなす角度)が変化しているが、旋光能による回転角度は $+60^\circ$ と変化はない。また、この場合も、AC値が最大となる検光子5の位置は、その偏光方向とx軸とのなす角度が $+30^\circ$ (すなわち、旋光角 ϕ の半分) $\pm 90^\circ \times n$ であり、AC値(max)は82mVであった。この結果から、 $\lambda/4$ 板3のc軸とポッケルス素子4のx軸とのなす角度が変化しても、検光子5の偏光方向を、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶のx軸に対して、ポッケルス素子4の旋光角 ϕ の半分だけ傾ければ、常に変調感度が最大となることがわかる。

【0059】(8) 次に、図7に示すように、 $\lambda/4$ 板3のc軸をx軸に対して 35° 傾けると共に、偏光子2の偏光方向をx軸に対して -10° 傾ける(偏光子2の偏光方向と $\lambda/4$ 板3のc軸とは 45° の角度となる)。

【0060】(9) 上記の状態において、上記(3)～(5)と同様の操作を行う。

【0061】上記の操作の結果を図8に示している。尚、 $\lambda/4$ 板3の出力は円偏光となるはずであるが、これが僅かに楕円偏光になっているのは、偏光子2や $\lambda/4$ 板3の僅かな位置ずれ等が原因と思われる。この場合も、やはり、AC値が最大となる検光子5の位置は、その偏光方向とx軸とのなす角度が $+30^\circ$ (すなわち、旋光角 ϕ の半分) $\pm 90^\circ \times n$ であり、AC値(max)は

89 mVであった。

【0062】上記の各実験結果から、偏光子2の偏光方向及び $\lambda/4$ 板3のc軸と、ポッケルス素子4の結晶軸（上記x軸）とのなす角度が変わっても、常に、検光子5をx軸に対して旋光角 ϕ の約半分だけ傾けた位置で変調感度が最大となることがわかる。このようなポッケルス素子4と検光子5との位置関係によって変調感度が最大となるのは、以下の理由によるものと考えられる。

【0063】まず、図9に示すように、旋光性を有さない電気光学結晶（ $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ 、 LiNbO_3 等）からなるポッケルス素子14を使用した平行偏光子の構成を考えてみる。尚、ポッケルス素子14として使用される電気光学結晶の屈折率楕円体（電圧を印加していない場合の屈折率楕円体）の主軸（X軸、Y軸、Z軸）は、図1に示した上記の座標軸x、y、zと一致している。

【0064】上記のポッケルス素子14に、光の進行方向（z軸方向）に電圧を印加すれば（縦型素子として使用）、当該印加電圧に応じて電気光学結晶の屈折率楕円体は変形する。具体的には、上記電気光学結晶が一軸性結晶であった場合、電圧印加によって二軸性結晶となる。そして、図9に示すように、電圧未印加時の屈折率楕円体の2本の主軸（X軸、Y軸）は、電圧印加によってx、y軸に対して 45° 回転し、電圧印加時の屈折率楕円体の主軸（X'軸、Y'軸）となる。

【0065】電圧未印加時の屈折率楕円体の切断面（光の進行方向と垂直に原点を含めて切断した面）を図10（a）に、電圧印加時の屈折率楕円体の切断面を図10（b）にそれぞれ示す。図10（a）に示すように、電圧未印加でz軸方向の電界が0のとき、屈折率楕円体の主軸（X軸、Y軸）はx軸、y軸と一致し、主屈折率 n_x 、 n_y は等しい。図10（b）に示すように、電圧印加でz軸方向に電界がかけられると、屈折率楕円体の主軸（X'軸、Y'軸）はx軸、y軸と 45° の角度をなし、主屈折率 $n_{x'}$ 、 $n_{y'}$ は、 $n_{x'} \neq n_{y'}$ となる。

【0066】屈折率楕円体の主軸は偏光の固有軸であるので、電圧が印加されたポッケルス素子14に入射した光は、互いに直交するX'軸方向及びY'軸方向に振動する2つの直線偏光に分解される。X'軸方向の主屈折率 $n_{x'}$ 及びY'軸方向の主屈折率 $n_{y'}$ は、ポッケルス素子14への印加電圧に比例して変化し、X'軸方向及びY'軸方向に振動する2つの直線偏光は、当該印加電圧に応じた位相差を生じてポッケルス素子14から出力される（すなわち位相変調が行われる）。

【0067】上記ポッケルス素子14の電気光学結晶は、旋光性を持たないので、当該結晶から出力される2つの直線偏光は、やはりX'軸方向及びY'軸方向に振動する光である。このポッケルス素子14を通過した振動方向が直交する2つの直線偏光は、合成されて印加電圧に応じた楕円偏光となる。ここで、例えば検光子5を

x軸に対して $\pm 45^\circ$ 傾けて、検光子5の偏光方向をX'軸方向又はY'軸方向と一致させた場合は、センサの感度は最小となる。なぜならば、ポッケルス素子14の出力光は、X'軸方向及びY'軸方向に振動する光のベクトル和であるから、検光子5をX'軸又はY'軸と平行に配置した場合には光量変化が生じないためである。一方、検光子5の偏光方向を、X'軸方向又はY'軸方向に対して 45° だけ傾ける、すなわち図9に示すように検光子5をx軸と一致させた場合に、センサの感度は最大となる。

【0068】すなわち、旋光性を持たないポッケルス素子14を用いた場合、電圧印加時の屈折率楕円体における光の進行方向（z軸方向）と直交する2本の主軸（X'軸、Y'軸）に対して、検光子5が 45° の角度をなすように配置すれば、最大感度が得られるのである。

【0069】ところで、図9に示すように、 $\lambda/4$ 板3のc軸（光学軸）とポッケルス素子14のX'軸とを平行にし、 $\lambda/4$ 板3のc軸に対して偏光子2を 45° 傾けた場合では、旋光性を持たないポッケルス素子14の出力光は、電圧印加により、x軸又はy軸上に長軸・短軸がある楕円偏光となる。このことと、検光子5をx軸と平行に配すれば最大感度が得られることから考えて、一見、検光子5に入力される楕円偏光の長軸・短軸と検光子5の偏光方向とを一致させた場合に、常に最大感度が得られるように思われるが、そうではない。最大感度は、あくまで、ポッケルス素子14のX'軸、Y'軸に対して 45° の角度をなすように検光子5を配置した場合に得られるのである。

【0070】次に、図1に示すように、旋光性を有する電気光学結晶（ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 等）からなるポッケルス素子4を使用した構成を考えてみる。

【0071】上述のように、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶や $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 結晶は等軸晶系に属し、その結晶軸は座標軸x、y、zと一致している。また、等軸晶系なので、電圧印加前の $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の屈折率楕円体は球形である。そして、この $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶のz軸方向の中間点における屈折率楕円体の主軸（X軸、Y軸、Z軸）は、座標軸x、y、z軸と一致していると考えられる。

【0072】上記のポッケルス素子4に、光の進行方向（z軸方向）に電圧を印加すれば、当該印加電圧に応じて $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶の屈折率楕円体は変形する。図11に示すように、旋光性を有するポッケルス素子4の場合、屈折率楕円体における光の進行方向（z軸方向）と直交する2本の主軸（X'軸、Y'軸）は、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶における光の進行方向の位置によって、z軸に垂直な面内の角度が変化していると考えられる。

【0073】詳しくは、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 結晶のz軸方向の中間点において、電圧未印加時の屈折率楕円体の2本の主軸（X軸、Y軸）は、電圧印加によってx、y軸に

対して 45° 回転すると考えられる。この中間点における屈折率楕円体の切断面（光の進行方向と垂直に原点を含めて切断した面）は、図12（b）のようになっていると思われ、電圧印加時の主軸（ $X'(mid)$ 軸、 $Y'(mid)$ 軸）は、 x 、 y 軸に対して 45° の角度をなす。

【0074】また、 $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶の光の入射面の位置においては、電圧印加時の屈折率楕円体の主軸

（ $X'(in)$ 軸、 $Y'(in)$ 軸）は、上記中間点における主軸（ $X'(mid)$ 軸、 $Y'(mid)$ 軸）よりも、旋光方向とは逆方向に旋光角 ϕ の半分（ $-\phi/2$ ）だけ z 軸回りに回転した位置にあると考えられる。この入射面の位置における屈折率楕円体の切断面は、図12（a）のようになっていると思われる。

【0075】また、 $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶の光の出射面の位置においては、電圧印加時の屈折率楕円体の主軸

（ $X'(out)$ 軸、 $Y'(out)$ 軸）は、上記中間点における主軸（ $X'(mid)$ 軸、 $Y'(mid)$ 軸）よりも、旋光方向と同一方向に旋光角 ϕ の半分（ $+\phi/2$ ）だけ z 軸回りに回転した位置にあると考えられる。この出射面の位置における屈折率楕円体の切断面は、図12（c）のようになっていると思われる。

【0076】上記のように考えると、 $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶の光の入射面から出射面までの間で、電圧印加時の屈折率楕円体の主軸（ X' 軸、 Y' 軸）は、旋光角 ϕ だけ回転することになる。また、 $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶の光の出射面の位置における屈折率楕円体の主軸（ $X'(out)$ 軸、 $Y'(out)$ 軸）に注目すると、旋光性を持たない電気光学結晶に電圧を印加したときの屈折率楕円体の主軸（ X' 軸、 Y' 軸）に対して、旋光角 ϕ の半分の角度だけ回転していることになる（図10（b）及び図12（c）参照）。

【0077】尚、電圧未印加の場合もこの軸の関係は保たれ、入射面では屈折率楕円体の中間位置の主軸（ X 軸、 Y 軸）より旋光角 ϕ の半分（ $-\phi/2$ ）、出射面では $+\phi/2$ だけ z 軸回りに回転している。

【0078】上記のポッケルス素子4を通過した2つの直線偏光は、出射面の位置における屈折率楕円体の主軸（ $X'(out)$ 軸、 $Y'(out)$ 軸）の方向に振動する光である。そして、互いに直交する方向に振動するこれら2つの直線偏光は、ポッケルス素子4を出射した後に合成されて印加電圧に応じた楕円率の楕円偏光となる。

【0079】ここで、例えば検光子5の偏光方向を、上記の $X'(out)$ 軸方向又は $Y'(out)$ 軸方向と一致させた場合は、センサの感度は最小となる。なぜならば、ポッケルス素子4の出力光は、 $X'(out)$ 軸方向及び $Y'(out)$ 軸方向に振動する光のベクトル和であるから、検光子5を $X'(out)$ 軸又は $Y'(out)$ 軸と平行に配置した場合には光量変化が生じないためである。一方、検光子5の偏光方向を、 $X'(out)$ 軸又は $Y'(out)$ 軸に対して 45° だけ傾けた場合に、センサの感度は最大となる。

【0080】図13に示すように、 $X'(out)$ 軸は、 x 軸に対して $-(45^\circ - (\phi/2))$ の角度だけ傾いている。最大感度が得られる検光子5の位置は、 $X'(out)$ 軸より $\pm 45^\circ \pm 90^\circ \times n$ だけずれた位置なので、これは x 軸に対して $\phi/2 \pm 90^\circ \times n$ だけずれた位置である。

【0081】尚、旋光性を有する $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶の場合、屈折率楕円体の2本の主軸（ X' 軸、 Y' 軸）が光の進行方向の位置によって図11に示すように変化していることを、以下の実験によって確かめた。

【0082】（A） $\lambda/4$ 板3を使用せず、偏光子2と検光子5との間に旋光性を有するポッケルス素子4のみを配置する。ポッケルス素子4の電気光学結晶としては、旋光角 $\phi \approx +30^\circ$ の $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶（厚さ $b \approx 3\text{mm}$ ）と、旋光角 $\phi \approx +60^\circ$ の $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶（厚さ $b \approx 5.7\text{mm}$ ）とをそれぞれ使用した。尚、図1に示すように、ポッケルス素子4の各結晶軸は x 軸、 y 軸、 z 軸に一致している。

【0083】（B）次に、上記ポッケルス素子4に安定した約240V（出来るだけ高い値）の交流電圧を光の進行方向に印加する。

【0084】（C）偏光子2及び検光子5を z 軸を中心として回転させながら、センサ出力のAC値が最大となる位置を捜す（オシロスコープの波形で確認する）。

【0085】（D）検光子5を上記（C）の操作で捜したAC値最大の位置に固定した上で、偏光子2のみを z 軸を中心として回転させながら、センサ出力のAC値が最小（殆ど0）になる偏光子2の位置（偏光子2の偏光方向と x 軸とのなす角度）を調べる。

【0086】上記の操作の結果、旋光角 ϕ が約 30° 、約 60° の何れの場合でも、偏光子2を x 軸に対して約 $-(\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾けたときに、センサ出力のAC値が殆ど0となった。また、偏光子2を上記の位置に配置した場合は、検光子5がどの位置に来ようとも、センサ出力のAC値は殆ど0のままであった。

【0087】これは、ポッケルス素子4の光の入射面に、 x 軸に対して約 $-(\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾いた直線偏光を入射しても、その直線偏光はポッケルス素子4を通過する際に互いに直交する方向に振動する2つの光に分解されず（したがって位相差も生じず）にポッケルス素子4から直線偏光のまま出力されたためと考えられる。このことから、ポッケルス素子4の入射面の位置においては、図11に示すように、 x 軸に対して約 $-(\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾いたところに、位相差を生じさせない偏光の固有軸である屈折率楕円体の主軸（ $X'(in)$ 軸、 $Y'(in)$ 軸）があることがわかる。

【0088】（E）次に、偏光子2を上記（C）の操作で捜したAC値最大の位置に固定した上で、検光子5の

みをz軸を中心として回転させながら、センサ出力のAC値が最小(殆ど0)になる検光子5の位置(検光子5の偏光方向とx軸とのなす角度)を調べる。

【0089】上記の操作の結果、旋光角 ϕ が約 30° 、約 60° の何れの場合でも、検光子5をx軸に対して約 $(+\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾けたときに、センサ出力のAC値が殆ど0となった。また、検光子5を上記の位置に配置した場合は、偏光子2がどの位置に来ようとも、センサ出力のAC値は殆ど0のままであった。

【0090】これは、ポッケルス素子4内で分解された互いに直交する方向に振動する2つの直線偏光が、ポッケルス素子4の出射面から出射するときにx軸に対して約 $(+\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾いた方向に振動しているためと考えられる。このことから、ポッケルス素子4の出射面の位置においては、図11に示すように、x軸に対して約 $(+\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ の角度だけ傾いたところに、偏光の固有軸である屈折率楕円体の主軸(X'(out)軸、Y'(out)軸)があることがわかる。

【0091】〔実施の形態2〕本発明のその他の実施の一形態について、主に図14に基づいて説明すれば、以下の通りである。尚、説明の便宜上、前記実施の形態にて示した部材と同一の機能を有する部材には、同一の参照符号を付記し、その説明を省略する。

【0092】本実施の形態では、光学バイアスとして機能する $\lambda/4$ 板3を、旋光性を有するポッケルス素子4の下流に配置した場合について説明する。すなわち、本実施の形態に係る光電圧センサ20は、図14に示すように、光の入射側から光ファイバ8a、コリメータ1、偏光子2、ポッケルス素子4、 $\lambda/4$ 板3、検光子5、コリメータ6、光ファイバ8bを順に配置した構成である。尚、座標軸x、y、zに対するポッケルス素子4及び $\lambda/4$ 板3の位置(角度)は、図1の場合と同様である。

【0093】本実施の形態においては、Bi₁₂GeO₂₀やBi₁₂SiO₂₀等のような旋光性を有する電気光学結晶をポッケルス素子4として使用した場合に、偏光子2の偏光方向が、上記x軸方向に対して、結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角 ϕ の約半分の角度($\approx \phi/2$)だけ傾けられている。一例を示すと、旋光角 $\phi \approx +30^\circ$ である厚さ $b \approx 3\text{mm}$ のBi₁₂

GeO₂₀結晶の場合は、x軸に対して偏光子2(その偏光方向)を左に約 15° 傾ければよい。また、旋光角 $\phi \approx +60^\circ$ である厚さ $b \approx 5.7\text{mm}$ のBi₁₂GeO₂₀結晶の場合は、x軸に対して偏光子2(その偏光方向)を左に約 30° 傾ければよい。上記のように、ポッケルス素子4の旋光角 ϕ に応じてポッケルス素子4と偏光子2との位置関係を定めることにより、変調感度を最大にすることができる。

【0094】尚、ポッケルス素子4に対する $\lambda/4$ 板3や検光子5の位置が変化しても(換言すれば、検光子5の偏光方向及び $\lambda/4$ 板3のc軸と上記x軸とのなす角度が変わっても)、上述のように偏光子2をx軸に対して約 $\phi/2$ だけ傾けた位置で変調感度が最大となる。すなわち、 $\lambda/4$ 板3をポッケルス素子4の下流に配置した場合、変調感度を最大にするためには、ポッケルス素子4と偏光子2との位置関係が重要となるのである。このことを確かめるため、以下に示す実験を行った。

【0095】図14に示すようにコリメータ1、偏光子2、ポッケルス素子4、 $\lambda/4$ 板3、検光子5、コリメータ6を順に並べ、図示しない安定化光源より約850nmの波長の光を出力する。ポッケルス素子4としては厚さ $b \approx 3\text{mm}$ のBi₁₂GeO₂₀結晶を使用し、このポッケルス素子4の光の進行方向に、安定した50Vの交流電圧を印加する。そして、検光子5及びコリメータ6を通過して光ファイバ8bに導かれる光に対して、光/電気変換(O/E変換)を施した後、その交流成分(AC値)及び直流成分(DC値)を測定する。

【0096】 $\lambda/4$ 板3のc軸とポッケルス素子4の結晶軸(x軸)との関係は図14に示す通り $\lambda/4$ 板3のc軸をx軸に対して 45° に傾けたまま一定とし、検光子5の偏光方向とx軸とのなす角度が、 0° 、 $+30^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 $+60^\circ$ となるように検光子5の位置を変化させる(z軸を中心として検光子5を回転させる)。そして、検光子5を上記の各位置に配した場合に、z軸を中心として偏光子2を回転させながら、センサ出力のAC値が最大になる偏光子2の位置(偏光子2の偏光方向とx軸とのなす角度)を調べる。この実験結果を表2に示す。

【0097】

【表2】

検光子の位置 〔度〕	AC値が最大となる 偏光子の位置〔度〕	AC値(max) 〔mV〕	DC値 〔mV〕
0	-15	99	610
+30	-15	49	887
+60	-15	53	886
+45	-15	7(感度略0)	932

【0098】表2に示すように、検光子5の位置を変化させても、センサ出力のAC値(AC成分の振幅)が最

大（すなわち変調感度が最大）となるのは、偏光子 2 の偏光方向を x 軸に対して -15° 、すなわち旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角 ϕ の約半分のみ傾けた場合である。尚、変調感度が最大となる偏光子 2 の位置から $\pm 90^\circ \times n$ 回転した位置に偏光子 2 を配した場合も、同様に変調感度が最大となる。

【0099】これに対して、偏光子 2 を AC 値が最大となる上記の位置から $\pm 45^\circ$ 回転させた位置に配すると、検光子 5 の位置（角度）を変化させても常に AC 値が略 0 となることも確認した。

【0100】すなわち、ポッケルス素子 4 の旋光角が ϕ （度）であれば、偏光子 2 の偏光方向を x 軸に対して、 $(-\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ （n は整数）だけ傾ければ変調感度が最大となり、一方、偏光子 2 の偏光方向を x 軸に対して、 $(-\phi/2) \pm 45^\circ \pm 90^\circ \times n$ （n は整数）だけ傾ければ変調感度が最小となる。

【0101】このように、 $\lambda/4$ 板 3 をポッケルス素子 4 の下流に配置し、偏光子 2 の直ぐ後にポッケルス素子 4 を配置した場合に、ポッケルス素子 4 と偏光子 2 の位置関係によって変調感度が変化するの、以下の理由によるものと考えられる。

【0102】すなわち、図 11 及び図 12 (a) に示すように、ポッケルス素子 4 に対して光の進行方向である z 軸方向に電圧を印加して電界 E (0, 0, E_z) をかけると、電気光学結晶の入射面では、偏光の固有軸である屈折率楕円体の主軸 ($X'(in)$ 軸、 $Y'(in)$ 軸) は、直交座標系の x 軸に対して $- \{45^\circ + (\phi/2)\}$ だけ傾いていると考えられる。

【0103】したがって、上記の屈折率楕円体の主軸 ($X'(in)$ 軸、 $Y'(in)$ 軸) と平行な方向に振動する直線偏光を入射しても、ポッケルス素子 4 において位相変調はされないで、偏光子 2 の偏光方向を x 軸に対して、 $(-\phi/2) \pm 45^\circ \pm 90^\circ \times n$ だけ傾ければ変調感度が最小となるのである。一方、上記の屈折率楕円体の主軸 ($X'(in)$ 軸、 $Y'(in)$ 軸) に対して 45° の角度をなす方向に振動する直線偏光を入射する、すなわち、偏光子 2 の偏光方向を x 軸に対して、 $(-\phi/2) \pm 90^\circ \times n$ だけ傾ければ変調感度が最大となるのである。

【0104】尚、図 14 に示すように、検光子 5 の直前にポッケルス素子 4 ではなく $\lambda/4$ 板 3 がある場合は、 $\lambda/4$ 板 3 と検光子 5 との位置関係でもセンサの感度が変化する。例えば、同図に示すように、上記 $\lambda/4$ 板 3 の c 軸（光学軸）及び a 軸が上記 x 軸に対して 45° だけ傾けられている場合、検光子 5 の偏光方向を c 軸又は a 軸と一致させるとセンサの感度が最小となる。これは、 $\lambda/4$ 板 3 に入射した光は c 軸方向及び a 軸方向に振動する直線偏光に分解されて出力されることから容易に理解できる。一方、検光子 5 の偏光方向を c 軸又は a

軸に対して 45° だけ傾ける（すなわち、検光子 5 を上記 x 軸又は y 軸と一致させる）とセンサの感度が最大になる。このため、本実施の形態では、検光子 5 を x 軸と平行に配している。

【0105】尚、上記の実施の形態では、旋光性を有する電気光学結晶として、等方性の点群 T（国際記号 23）に属する $Bi_{12}GeO_{20}$ 結晶や $Bi_{12}SiO_{20}$ 結晶を例示したがこれに限定されるものではない。例えば、1 軸性結晶である点群 C_3 （国際記号 3）や点群 D

3（国際記号 32）に属する三方晶系の結晶等、旋光性を有する他の電気光学結晶を使用することもできる。

【0106】ポッケルス素子 4 として 1 軸性結晶を使用する場合は、その光学軸を光の進行方向と平行に配置すればよい。詳しくは、1 軸性の電気光学結晶の光の進行方向の中間点における電圧未印加時の屈折率楕円体の 3 つの主軸、X 軸、Y 軸、Z 軸（Z 軸は光学軸）を、図 1 又は図 14 の直交座標軸 x、y、z と一致させればよい。

【0107】また、上記の実施の形態では、光電圧センサについて説明したが、ポッケルス素子 4 の表面部に電極を設けることなく当該素子を電界中に配置すれば、光の進行方向の電界を測定することが可能であり、上記と同様の構成で高感度の光電界センサを構成することもできる。

【0108】

【発明の効果】請求項 1 の発明に係る光電圧・電界センサは、以上のように、光の進行方向に沿って偏光子、波長板、旋光性を有する電気光学結晶、及び検光子が順次配置された構成において、上記検光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と同一方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられている構成である。

【0109】それゆえ、電気光学結晶と検光子との位置関係が適正化され、変調感度を最大にすることができるという効果を奏する。

【0110】請求項 2 の発明に係る光電圧・電界センサは、以上のように、光の進行方向に沿って偏光子、旋光性を有する電気光学素子、波長板、及び検光子が順次配置された構成において、上記偏光子の偏光方向が、上記電気光学結晶における光の進行方向と直交する結晶軸に対して、当該結晶の旋光性によって偏光面が回転する方向と逆方向に旋光角の略半分の角度だけ傾けられている構成である。

【0111】それゆえ、電気光学結晶と偏光子との位置関係が適正化され、変調感度を最大にすることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の一形態を示すものであり、光電圧センサの要部の構成を示す斜視図である。

【図2】図1の光電圧センサの概略のブロック図である。

【図3】直交座標系において、偏光子の偏光方向、及び $\lambda/4$ 板のa、c軸の方向を示す説明図である。

【図4】図3の光学部材の配置において、 $\lambda/4$ 板の出射光の状態、ポッケルス素子の出射光の状態、及び変調感度が最大となる検光子の偏光方向をそれぞれ示す説明図である。

【図5】直交座標系において、偏光子の偏光方向、及び $\lambda/4$ 板のa、c軸の方向を示す説明図である。

【図6】図5の光学部材の配置において、 $\lambda/4$ 板の出射光の状態、ポッケルス素子の出射光の状態、及び変調感度が最大となる検光子の偏光方向をそれぞれ示す説明図である。

【図7】直交座標系において、偏光子の偏光方向、及び $\lambda/4$ 板のa、c軸の方向を示す説明図である。

【図8】図7の光学部材の配置において、 $\lambda/4$ 板の出射光の状態、ポッケルス素子の出射光の状態、及び変調感度が最大となる検光子の偏光方向をそれぞれ示す説明図である。

【図9】旋光性を持たないポッケルス素子を使用した光電圧センサの要部の構成を示す斜視図である。

【図10】旋光性を持たないポッケルス素子の屈折率楕円体の切断面を示す説明図であり、図10中の(a)は電圧未印加時、同図中の(b)は電圧印加時の屈折率楕円体の切断面を示す。

【図11】旋光性を有するポッケルス素子において、光の進行方向の位置によって屈折率楕円体の主軸が変化する状態を示す説明図である。

【図12】図11のポッケルス素子の屈折率楕円体の切断面を示す説明図であり、図12中の(a)は光の入射面、同図中の(b)は光の進行方向の中間点、同図中の(c)は光の出射面における電圧印加時の屈折率楕円体の切断面を示す。

【図13】図1の光電圧センサにおいて、最大感度が得られる検光子の偏光方向を示す説明図である。

【図14】本発明のその他の実施の一形態を示すものであり、光電圧センサの要部の構成を示す斜視図である。

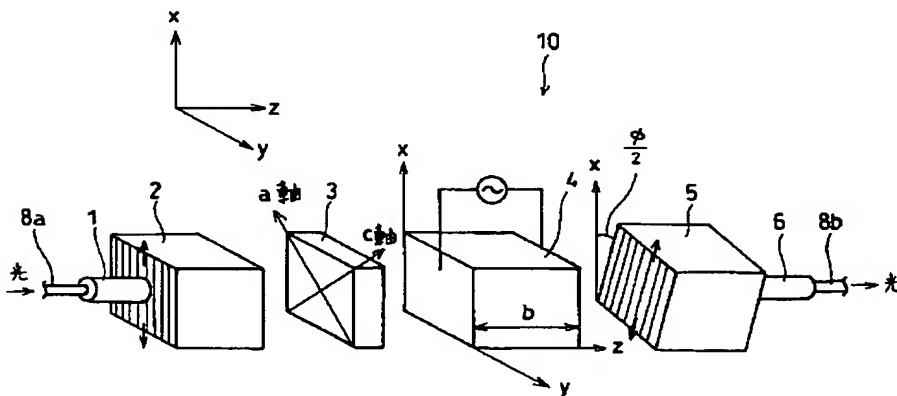
【図15】従来の光電圧センサの要部の構成を示す斜視図である。

【図16】従来のその他の光電圧センサの要部の構成を示す斜視図である。

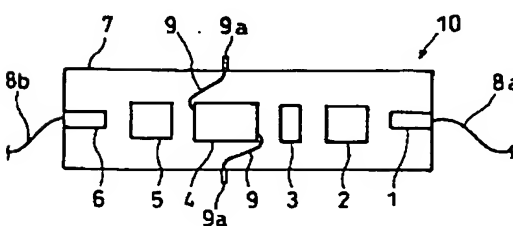
【符号の説明】

- | | |
|----|--------------------|
| 1 | コリメータ |
| 2 | 偏光子 |
| 3 | $\lambda/4$ 板(波長板) |
| 4 | ポッケルス素子(電気光学結晶) |
| 5 | 検光子 |
| 6 | コリメータ |
| 10 | 光電圧センサ |
| 20 | 光電圧センサ |

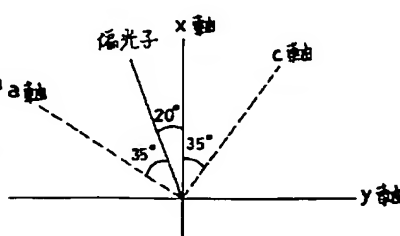
【図1】



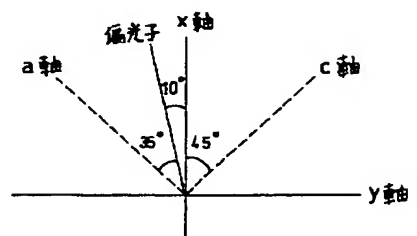
【図2】



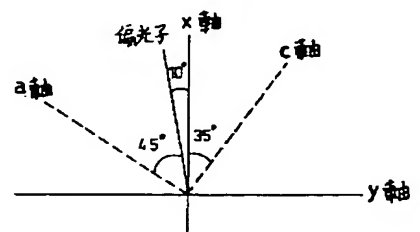
【図5】



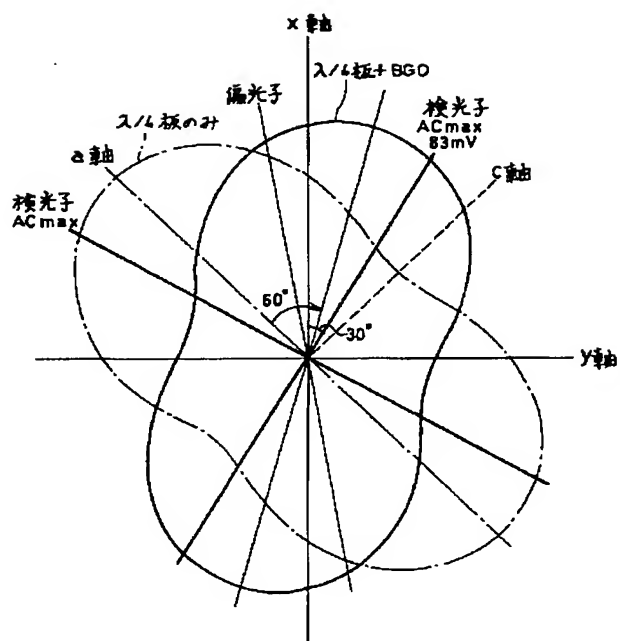
【図3】



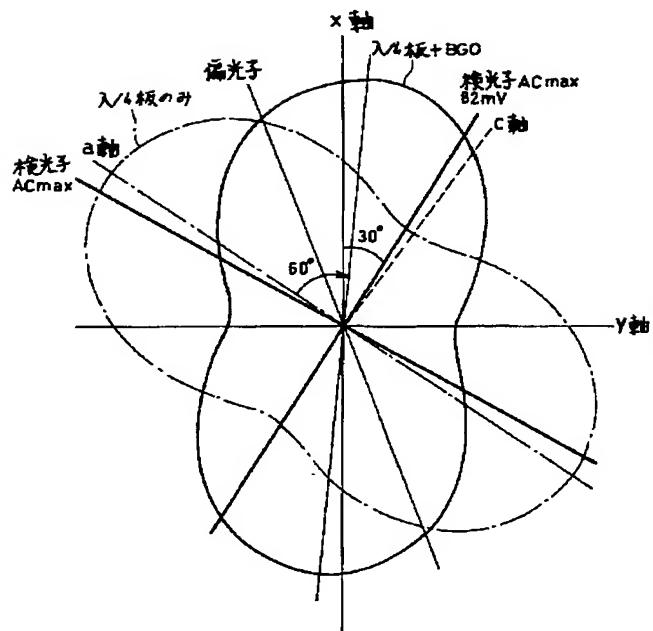
【図7】



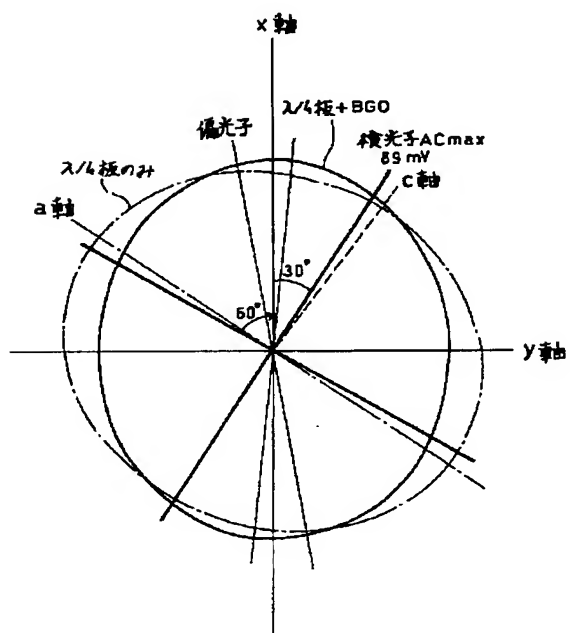
【図4】



【図6】

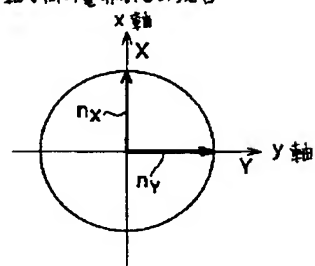


【図8】

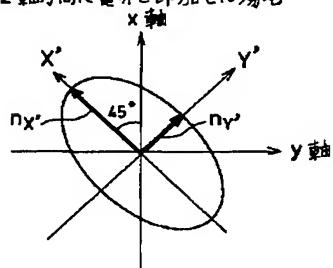


【図10】

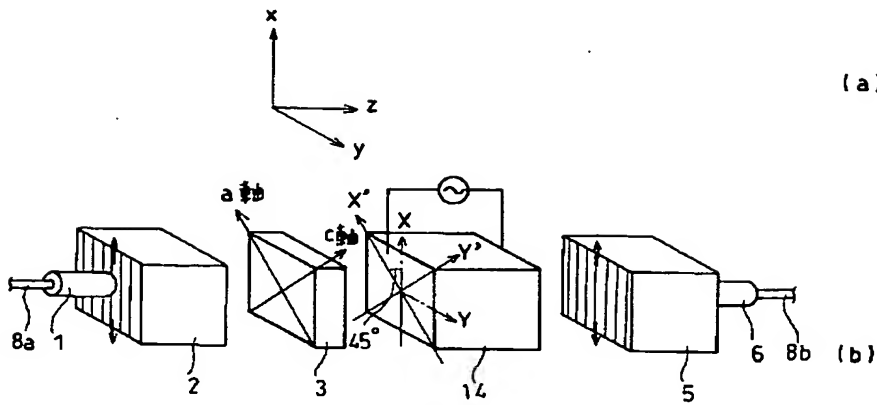
(a) z 軸方向の電界が0の場合



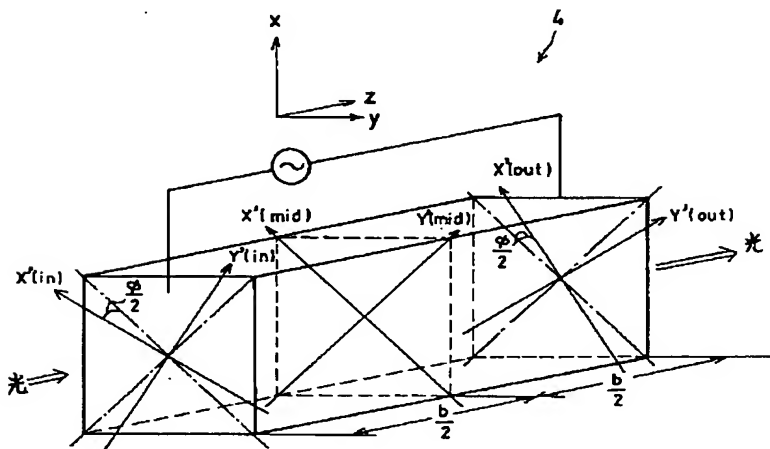
(b) z 軸方向に電界を印加した場合



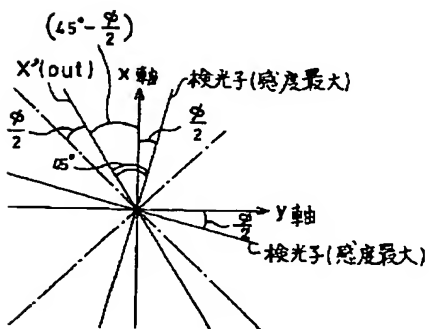
【図 9】



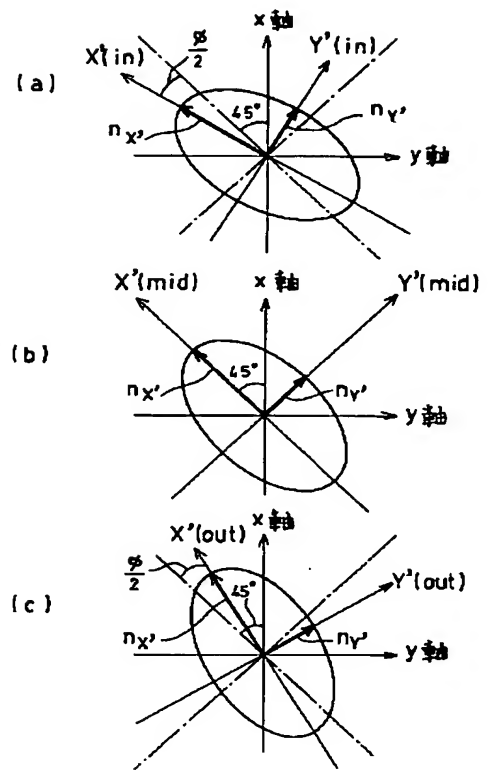
【図 11】



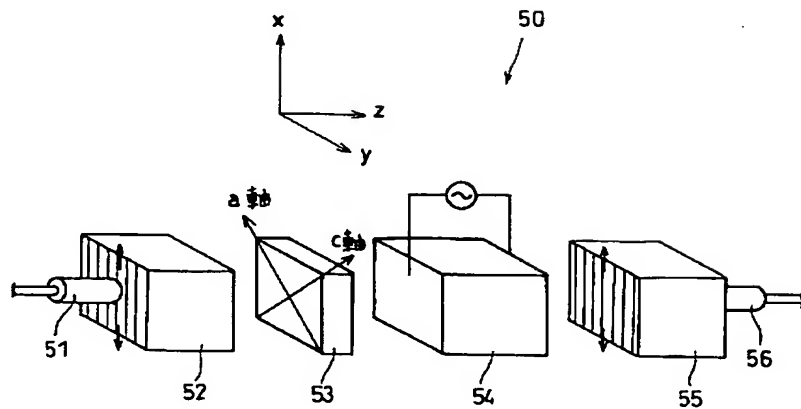
【図 13】



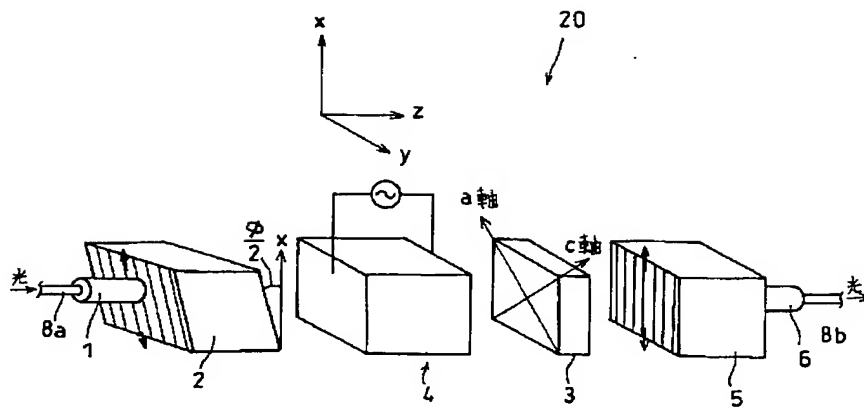
【図 12】



【図 15】



【図14】



【図16】

